

ADAMS & WILKS

ATTORNEYS AND COUNSELORS AT LAW

50 BROADWAY

31st FLOOR

NEW YORK, NEW YORK 10004

BRUCE L. ADAMS
VAN C. WILKS.

JOHN R. BENEFIEL.

PAUL R. HOFFMAN

TAKESHI NISHIDA

FRANCO S. DE LIGUORI

*NOT ADMITTED IN NEW YORK

*REGISTERED PATENT AGENT



RIGGS T. STEWART
(1924-1993)

TELEPHONE
(212) 809-3700

FACSIMILE
(212) 809-3704

November 21, 2003

COMMISSIONER FOR PATENTS
Washington, DC 20231

Re: Patent Application of Yasuyuki MITSUOKA et al.

Serial No. 09/837,836 Filing Date: April 18, 2001

Examiner: Richard Hanig Group Art Unit: 2873

Docket No. S004-4282

S I R:

The above-identified application was filed claiming the right of priority based on the following foreign application(s).

1. Japanese Patent Appln. No. 2001-078891 filed March 19, 2001
2. Japanese Patent Appln. No. 2000-117967 filed April 19, 2000
3. Japanese Patent Appln. No. filed
4. Japanese Patent Appln. No. filed
5. Japanese Patent Appln. No. filed
6. Japanese Patent Appln. No. filed
7. Japanese Patent Appln. No. filed
8. Japanese Patent Appln. No. filed
9. Japanese Patent Appln. No. filed
10. Japanese Patent Appln. No. filed
11. Japanese Patent Appln. No. filed

Certified copy(s) are annexed hereto and it is requested that these document(s) be placed in the file and made of record.

MAILING CERTIFICATE

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first-class mail in an envelope addressed to: COMMISSIONER OF PATENTS & TRADEMARKS, Washington, DC 20231, on the date indicated below.

MICHAEL RUAS

Name

Michael Ruas
Signature

Respectfully submitted,

ADAMS & WILKS
Attorneys for Applicant(s)

By:

Bruce L. Adams
Reg. No. 25,386

NOVEMBER 21, 2003

Date

BLA: mr
Enclosures

日本特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2001年 3月19日

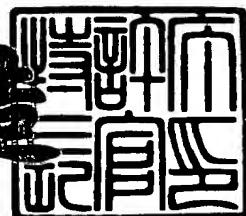
出願番号
Application Number: 特願2001-078891

出願人
Applicant (s): セイコーインスツルメンツ株式会社

2001年 4月13日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3030151

【書類名】 特許願

【整理番号】 01000137

【提出日】 平成13年 3月19日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G11B 7/135

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株式会社エスマ
イアイ・アールディセンター内

【氏名】 新輪 隆

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株式会社エスマ
イアイ・アールディセンター内

【氏名】 光岡 靖幸

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株式会社エスマ
イアイ・アールディセンター内

【氏名】 加藤 健二

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株式会社エスマ
イアイ・アールディセンター内

【氏名】 大海 学

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株式会社エスマ
イアイ・アールディセンター内

【氏名】 笠間 宣行

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株式会社エスマ
イアイ・アールディセンター内

【氏名】 市原 進

【特許出願人】

【識別番号】 000002325

【氏名又は名称】 セイコーインスツルメンツ株式会社

【代表者】 服部 純一

【代理人】

【識別番号】 100096286

【弁理士】

【氏名又は名称】 林 敬之助

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000-117967

【出願日】 平成12年 4月19日

【整理番号】 00000244

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008246

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9003012

【プルーフの要否】 不要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波路プローブおよびその製造方法、ならびに走査型近視野顕微鏡

【特許請求の範囲】

【請求項1】 片持ちはり状の光導波路と、
前記光導波路先端に設けられ、前記光導波路に対して略垂直方向に先鋒化された探針と、

前記探針の先端に設けられた微小開口と、
前記光導波路の先端近傍が前記探針側に折り曲げられた屈曲部とを備えるとともに、

前記屈曲部が前記光導波路内の伝搬光を偏向する偏向機能を有することを特徴とする光導波路プローブ。

【請求項2】 前記屈曲部での前記伝搬光の偏角が、90度以下であることを特徴とする請求項1に記載の光導波路プローブ。

【請求項3】 前記屈曲部が、单一の面で前記伝搬光を偏向することを特徴とする請求項1または2に記載の光導波路プローブ。

【請求項4】 前記单一の面が前記光導波路から前記微小開口までの光軸を含む光軸面に対して直交する面であることを特徴とする請求項3に記載の光導波路プローブ。

【請求項5】 前記单一の面が前記光軸面に対して直交しない面であることを特徴とする請求項3に記載の光導波路プローブ。

【請求項6】 前記光軸面に直交し前記導波路の光軸を含む面に対して、前記单一の面の角度が45度以下であることを特徴とする請求項5に記載の光導波路プローブ。

【請求項7】 前記屈曲部は、前記光導波路から前記微小開口までの光軸を含む光軸面に対して略対称な複数の面で折り曲げられていることを特徴とする請求項1または2に記載の光導波路プローブ。

【請求項8】 前記複数の面は、複数の平面であることを特徴とする請求項7に記載の光導波路プローブ。

【請求項9】 複数の前記平面は、前記光軸面に対してそれぞれ垂直ではないことを特徴とする請求項8に記載の光導波路プローブ。

【請求項10】 前記屈曲部は、反射膜を有していることを特徴とする請求項1から9のいずれか一項に記載の光導波路プローブ。

【請求項11】 前記光導波路の支持部に光学素子を位置決めするためのガイドがもうけられていることを特徴とする請求項1から10のいずれか一項に記載の光導波路プローブ。

【請求項12】 前記ガイドが、V溝であることを特徴とする請求項11に記載の光導波路プローブ。

【請求項13】 走査型近視野顕微鏡に用いられる光導波路プローブが、

片持ちばり状の光導波路と、

前記光導波路先端に設けられ、前記光導波路に対して略垂直方向に先鋭化された探針と、

前記探針の先端に設けられた微小開口と、

前記光導波路の先端近傍が前記探針側に折り曲げられた屈曲部とを備えるとともに、

前記屈曲部が前記光導波路内の伝搬光を偏向する偏向機能を有することを特徴とする走査型近視野顕微鏡。

【請求項14】 走査型近視野顕微鏡に用いる光導波路プローブの製造方法において、

光導波路を堆積する基板を形成する基板形成工程と、

前記光導波路を前記基板上に堆積する堆積工程と、

前記光導波路の一部を前記基板から分離する分離工程を含み、

前記基板形成工程において、前記光導波路の一部を折り曲げるための屈曲状の基板を形成することを特徴とする光導波路プローブの製造方法。

【請求項15】 前記基板形成工程において、

前記光導波路の光軸に平行な下面と、前記下面に対して垂直ではなく、かつ、前記光軸と前記下面の法線を含む面に対して略対称な複数の面と、を含む基板を形成することを特徴とする請求項14に記載の光導波路プローブの製造方法。

【請求項16】 前記基板形成工程は、異方性エッチングを用いて形成する工程であることを特徴とする請求項14または15に記載の光導波路プローブの製造方法。

【請求項17】 走査型近視野顕微鏡に用いる光導波路プローブの製造方法において、

エッチング特性の異なる材料を挟持して張り合わされた2枚の基板を用い、前記基板の内、一方の基板に光導波路の一部を折り曲げるための段差を形成する工程と、他方の基板に光学素子用ガイドを形成する工程とを含むことを特徴とする光導波路プローブの製造方法。

【請求項18】 前記基板が単結晶シリコン基板であることを特徴とする請求項17に記載の光導波路プローブの製造方法。

【請求項19】 前記2枚の基板が面方位の同じ単結晶シリコン基板であることを特徴とする請求項17または18に記載の光導波路プローブの製造方法。

【請求項20】 前記2枚の基板が互いに面方位の異なる単結晶シリコン基板であることを特徴とする請求項17または18に記載の光導波路プローブの製造方法。

【請求項21】 前記基板において、前記型を形成する基板の前記導波路の光軸方向と、前記ガイドを形成する基板の前記ガイドの光軸方向を一致するよう前記基板を張り合わせることを特徴とする請求項17から請求項20のいずれか一項に記載の光導波路プローブの製造方法。

【請求項22】 前記光導波路のコアと前記光学素子用ガイドを規定するパターンを同時に形成する事を特徴とする請求項17から請求項21のいずれか一項に記載の光導波路プローブの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、近視野光を利用して試料の微細領域における光学特性を観察・計測する光プローブであって、特に光導波路からなる光導波路プローブおよびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

現在、走査型近視野顕微鏡（以下、SNOMと略す）では、先端が先鋭化された光媒体からなるプローブを、光の波長以下まで測定試料に近づけることで、試料の光学特性や形状を測定している。この装置の一つとして、試料に対して垂直に保持した直線状の光ファイバープローブの先端を、試料表面に対して水平に振動させ、試料表面とプローブ先端のせん断力によって生じる振動振幅の変化を、プローブ先端に照射したレーザ光の影の変化によって検出し、振幅が一定になるように試料を微動機構で動かすことによって、プローブ先端と試料表面の間隔を一定に保ち、微動機構に入力した信号強度から表面形状を検出するとともに試料の光透過性の測定を行う装置が提案されている。

【0003】

また、鉤状に成形した光ファイバープローブを原子間力顕微鏡（以下AFMと略す）のカンチレバーとして使用し、AFM動作すると同時に、光ファイバープローブの先端から試料にレーザ光を照射し、表面形状を検出するとともに試料の光学特性の測定を行う走査型近視野原子間力顕微鏡が提案されている（特開平7-174542号公報）。この光ファイバープローブは、光媒体に光ファイバーが用いられ、光ファイバーの周囲は金属膜被覆で覆われている。また、探針部が先鋭化されており、探針部の先端に開口を有する。

【0004】

さらに、光導波路をコアとクラッドの積層からなるカンチレバー状に構成し、一端には先鋭化された探針部、他端には光導波路を固定する支持部が形成されており、探針部側の光導波路は湾曲した構造を持つ光導波路プローブも知られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、SNOMで使用する光ファイバープローブは、光ファイバーを材料として多くの工程を手作業で製造しており、量産性が低く、探針部の先端径や先端角、開口径などの形状が不均一であるという問題点があった。また、プロ

ープ走査を高速かつ損傷なく行うためには、プローブの共振周波数を高く、かつバネ定数を小さくする必要がある。しかし、光ファイバーを光媒体として使用しているので、小型化して高共振周波数、低バネ定数にすることが難しいといった問題点があった。

【0006】

さらに、光ファイバーや光導波路を湾曲させたプローブでは、湾曲している部分で伝搬光の損失が生じ、伝搬光を効率よく伝搬することができないと言う課題があった。

【0007】

本発明は上記に鑑みてなされたものであって、量産性、均一性、高速走査性に優れ、効率よく伝搬光を伝搬させることのできる光導波路プローブ、およびその光導波路プローブを作製する製造方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明にかかる光導波路プローブは、片持ちはり状の光導波路と、前記光導波路先端に設けられ、前記光導波路に対して略垂直方向に先鋭化された探針と、前記探針の先端に設けられた微小開口と、前記光導波路の先端近傍が前記探針側に折り曲げられた屈曲部とからなり、前記屈曲部が前記光導波路内の伝搬光を偏向する偏向機能を有することを特徴とする。

【0009】

また、前記屈曲部での前記伝搬光の偏角が、90度以下であることを特徴とする。

【0010】

また、前記屈曲部が、单一の面で前記伝搬光を偏向することを特徴とする。

【0011】

また、前記单一の面が前記光導波路から前記微小開口までの光軸を含む光軸面に対して直交する面であることを特徴とする。

【0012】

また、前記单一の面が前記光軸面に対して直交しない面であることを特徴とす

る。

【0013】

また、前記光軸面に直交し前記導波路の光軸を含む面に対して、前記单一の面の角度が45度以下であることを特徴とする。

【0014】

また、前記屈曲部は、前記光導波路から前記微小開口までの光軸を含む光軸面に対して略対称な複数の面で折り曲げられていることを特徴とする。

【0015】

また、前記複数の面は、複数の平面であることを特徴とする。

【0016】

また、複数の前記平面は、前記光軸面に対してそれぞれ垂直ではないことを特徴とする。

【0017】

また、前記屈曲部は、反射膜を有していることを特徴とする。

【0018】

また、前記光導波路の支持部に光学素子を位置決めするためのガイドがもうけられていることを特徴とする。

【0019】

また、前記ガイドが、V溝であることを特徴とする。

【0020】

上記光導波路プローブによれば、屈曲部において効率よく伝搬光を偏向することができるので、微小開口から光を出射する効率、あるいは微小開口で光を検出する効率を向上することができる。さらに、光導波路を伝搬してきた伝搬光を微小開口へ集光したり、その逆に、微小開口からの光をコリメートすることができるので、効率を向上することができる。

【0021】

上記の目的を達成するために、本発明にかかる光導波路プローブの製造方法は、光導波路を堆積する基板を形成する基板形成工程と、前記光導波路を前記基板上に堆積する堆積工程と、前記光導波路の一部を前記基板から分離する分離工程

を含み、前記基板形成工程において、前記光導波路の一部を折り曲げるための屈曲状の前記基板を形成することを特徴とする。

【0022】

また、前記基板形成工程は、前記光導波路の光軸に平行な下面と、前記下面に對して垂直ではなく、かつ前記光軸と前記下面の法線を含む面に対して略対称な複数の面と、を含む前記基板を形成する工程であることを特徴とする。

【0023】

また、前記基板形成工程は、異方性エッチングを用いて形成する工程であることを特徴とする。

【0024】

また、走査型近視野顕微鏡に用いる光導波路プローブの製造方法において、エッチング特性の異なる材料を挿持して張り合わされた2枚の基板を用い、一方の前記基板に光導波路の一部を折り曲げるための段差を形成する工程と、他方の前記基板に、光学素子用ガイドを形成する工程とを含むことを特徴とする。

【0025】

また、前記基板が単結晶シリコン基板であることを特徴とする。また、前記基板において、面方位が同じ2枚の単結晶シリコン基板を張り合わせることを特徴とする。

【0026】

また、前記基板において、面方位が異なる2枚の単結晶シリコン基板を張り合わせることを特徴とする。

【0027】

また、前記基板において、型を形成する基板の導波路の光軸方向と、ガイドを形成する基板のガイドの光軸方向を一致するように前記基板を張り合わせることを特徴とする。

【0028】

また、光導波路のコアと光学素子用ガイドを規定するパターンを同時に形成することを特徴とする。

【0029】

上記光導波路プローブの製造方法によれば、型となる基板上に光導波路を積層して作製することができるため、量産性、形状再現性、均一性が向上する。また、小型の光導波路プローブを作製することができるため、低バネ定数で高共振周波数を有する光導波路プローブを作製することができる。そのため、プローブを損傷なく高速走査することが可能となる。また、伝搬光を効率よく伝搬することができる屈曲部を形成することが可能となる。

【0030】

【発明の実施の形態】

以下、この発明につき図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

(実施の形態1)

図1は、この発明の実施の形態1を示す光導波路プローブの構成を示す構成図である。図1(a)は上面図、図1(b)はAA'断面での断面図、図1(c)はDD'断面での断面図、図1(d)は光伝搬の様子を示す拡大模式図である。

【0031】

光導波路プローブ50は、光導波路2と、それを支える支持部1とから構成されている。光導波路2は、支持部1に積層され、一体に形成されている。光導波路2は、片持ちばり状の弾性機能部3とその先端の探針部9を有し、先端近傍には探針部9側に折り曲げられた屈曲部10が形成されている。探針部9は先鋭化されており、その先端に微小開口5を有する。光導波路2は、略中心部に光を伝搬するコア4とその外周部のクラッド6とから構成されている。図示していないが、弾性機能部3や探針部9は遮光膜で覆われ、探針部9先端の遮光膜で覆われていない部分が微小開口5となる。

【0032】

クラッド6の屈折率は、コア4の屈折率に比べて相対的に小さい。弾性機能部3の長さは、例えば50μmから1000μmである。探針部9の長さは、例えば1μmから30μmである。コア4の光軸に垂直な断面形状は四角形であり、一边長は1μmから100μmである。光導波路2の光軸に垂直な断面形状は略四角形であり、一边長は5μmから500μmである。支持部1の厚さは、例え

ば200μmから600μmである。支持部1の長さおよび幅は、例えば1mmから50mmである。コア4およびクラッド6の材料としては、二酸化珪素、フッ素やボロンをドープした二酸化珪素などのガラス材料、ポリウレタン、エポキシなどの有機材料、酸化ニオブ、酸化亜鉛などの金属酸化物など、さまざまな誘電体材料を用いることができる。遮光膜には、金、白金、アルミニウム、クロム、ニッケル等の光を反射する材料が用いられる。遮光膜の厚さは、例えば100nmから1μmである。微小開口5の直径は、例えば10nmから500nmである。

【0033】

光導波路2は、弾性機能部3の先に探針部9が形成され、弾性機能部3の途中が探針部9側に折り曲げられている。本実施の形態では、図1(d)に示すように、2平面12、13が交差する屈曲部10によって光導波路2が折り曲げられ、2平面12、13の交線に沿ってコア4を形成する。この2平面12、13は、図1(c)に示すように、光導波路2を形成している基板1の面に対しては約55度傾くとともに、光導波路2の光軸と微小開口5を含む面(AA'断面)にに対して対称で、90度に交差している。

【0034】

入射端11からの入射光8は、光導波路2に入射後、コア4内を伝搬する。伝搬してきた伝搬光7は屈曲部10で反射して微小開口5へ導入される。コア4とクラッド6との屈折率差が十分大きく、その界面で伝搬光7が全反射されるのが望ましい。全反射しない場合には、クラッド6表面に反射膜を形成しても良い。このような構造においては、伝搬光7が偏向される偏角が小さく(例えば90度以下)、屈曲部10を形成する2平面12、13に対して伝搬光7が入射する角を小さくできるため、コア4とクラッド6の界面で全反射が起こりやすく、屈曲部10での損失を低減できる。また、伝搬光7を光軸方向にそのまま反射させるのではなく、微小開口5側へ集光させるように反射させることができ、コア4内の伝搬光7を微小開口5近傍に集光することができる。このように、屈曲部10においては、コア4内の伝搬光7が効率よく、集光されて微小開口5に反射されるので、微小開口5から強度の強い近視野光を出射することができる。

【0035】

微小開口5で検出し、光導波路2内を逆方向に光が伝搬する場合においても同様に、効率よく光を反射することができる。ここでは、2平面12、13によつて屈曲部10を形成する場合を例にとり説明したが、それが曲面であつても良いし、2面ではなく4面やそれ以上の面から構成しても良い。

【0036】

また、光導波路2の先端方向に光検出器を配置し、反射モードで試料の光学特性を観察する場合には、微小開口5がカンチレバー状の光導波路2先端に形成されているため、試料での反射光が光導波路2で遮られる部分が少なく、効率よく試料での反射光を検出することができる。

【0037】

以上説明したように、上記光導波路プローブ50によれば、光導波路2の入射端11から入射光8を導入し、微小開口5から測定試料に対して光を照射することができる。または、試料表面に局在する光を微小開口5で検出し、光導波路2の入射端（この場合は出射端になる）11後方に配置する検出器で検出することもできる。これら微小開口による光照射や光検出を効率よく行うことができる。

【0038】

また、弾性機能部3は小型化可能で、バネ定数および共振周波数は弾性機能部3の長さや幅によって調整することができる。よつて、弾性機能部3は、低バネ定数、高共振周波数とすることができるため、試料やプローブを損傷することなく高速に走査することができる。

(実施の形態2)

図2は、実施の形態1の光導波路プローブの製造方法を示す説明図である。図3、図4はそれぞれ図2（b）、（e）での上面図である。図2（a）は、基板31上にマスクとなる二酸化珪素32をパターニングした状態を示す。基板31はシリコンからなるが、型が形成できれば、石英基板等でも良い。図2（b）は、パターニングした二酸化珪素32をマスクとして、水酸化カリウム（KOH）やテトラメチルアンモニウムハイドロオキサイド（TMAH）を用いた異方性エッチングにより、光導波路の屈曲部となる型を形成する工程を示す。この型の上

面図が図3である。B B'断面で示すように(C C'断面も同じ)、基板31の下面37に対して、角度(約55度)を有する斜面36を2面形成する。この2面は90度で交差している。

【0039】

図2(c)は屈曲型上に光導波路33を堆積する工程を表わしたものである。屈曲型上にクラッド材を堆積し、その上にパターニングしたコア材を堆積し、さらにその上にクラッド材を堆積する。コア材およびクラッド材の堆積方法は材料によって適した方法が用いられる。例えば酸化珪素の場合、気相合成法(以下、CVDと略す)、スパッタ、真空蒸着などを用いる。クラッド材の屈折率はコア材の屈折率よりも相対的に小さい。

【0040】

図2(d)は、堆積した光導波路33上に、探針部を有する片持ちはり状にパターニングするためのマスク34を形成する工程を示す。図2(e)は、マスク34を用いて光導波路33をパターニングする工程を示す。ドライエッチングやウェットエッチングにより光導波路33をパターニングすることが可能である。この状態の上面図を図4に示す。下面37、斜面36に沿って探針部を有する光導波路35を形成している。探針部は基板31に対して略垂直方向に先鋭化されている。

【0041】

図2(f)は光導波路35の一部を基板31から分離する工程を示している。光導波路35を支持する基板を残して、基板31をエッチングで除去することにより、片持ちはり状の光導波路プローブ50を形成する。

【0042】

さらに図示しないが、片持ちはり状の光導波路35の周囲に金属(A1やCrなど)を蒸着やスパッタにより成膜し、探針部先端に微小開口を形成する。

【0043】

以上説明した工程によれば、実施の形態1の光導波路プローブ50を容易に、量産性、均一性良く製造することが可能である。

(実施の形態3)

本発明の第3の実施の形態に係る光導波路プローブ51について、図5を用いて説明する。なお、実施の形態1で説明した光導波路プローブ50と重複する部分の記号は同じものを用い、説明は省略する。

【0044】

光導波路プローブは、光導波路プローブ50を構成する要素に加えて、V溝42を備えた支持部1と、支持部1とクラッド6との間にもうけられた支持層41と、クラッド6およびコア4からなり、V溝42上に飛び出した光導入部43からなる。なお、光導入部43がない構成でもよい。また、支持層41がなくてもよい。

【0045】

V溝42に光ファイバーを固定することによって、光ファイバーからコア4に効率よく光を導入することが容易になる。また、V溝42には、光ファイバーのほかに、半導体レーザや発光ダイオード、レンズなどの光学素子を固定してもよい。

【0046】

図6は、光導波路プローブ51の作製方法を説明する図である。なお、以下では、図面の上側をおもて面、下側を裏面とする。図6(a)に示す、シリコンからなる基板61、基板61上の酸化膜62、酸化膜上に形成されたシリコンからなる活性層63、からなるスタート基板(シリコンオンインシュレータ基板、以下SOI基板)を用いる。活性層63および基板61は(100)面のシリコン単結晶である。(100)ウェハのオリエンタルフラットの方向は、<110>方向であるが、本発明のスタート基板では、活性層63と基板61のオリエンタルフラットの方向を45度だけずらしたものを用いる。すなわち、図6(a)中、矢印Aで示す基板61の結晶方位は<110>方向、同図中矢印Bで示す活性層の結晶方位は、<100>方向であり、それぞれの方向は、V溝中に固定される光ファイバーおよび光導波路2の光軸方向と一致する。活性層63の上には、段差形成用マスク64を形成する。また、基板61の裏面側には、リリース用マスク65を形成する。段差形成用マスクおよびリリース用マスク65の材料は、二酸化珪素や窒化珪素など、KOHやTMAHなどをもちいた異方性エッチングに耐性の

ある材料を用いる。

【0047】

次に、図6 (b) に示すように、おもて面からKOHやTMAHなどによる異方性エッチングによって活性層63をエッチングして段差を形成する。このときの上面図は、実施の形態2の図3で説明した状態と同様である。

【0048】

次に、段差形成用マスク64を除去した後、図6 (c) に示すように、光導波路33を形成する。光導波路の形成方法、寸法、材料は、実施の形態1および実施の形態2で説明したものと同様である。

【0049】

図6 (d) は、堆積した光導波路33上に、探針部を有する片持ちはり状にパターニングするためのマスク34を形成する工程を示す。図6 (e) は、マスク34を用いて光導波路33をパターニングする工程を示す。ドライエッチングやウェットエッチングにより光導波路33をパターニングすることが可能である。この状態の上面図は、実施の形態2で説明した図4の状態と同様である。

【0050】

次に、図6 (f) に示すように酸化膜62をパターニングする事によって、V溝用マスクを形成する。図6 (f) 中の破線で囲んだ部分の上面図を図6 (g) に示す。

【0051】

次に、図6 (h) に示すように、おもて面側からKOHやTMAHなどを用いた異方性エッチングによって、V溝42を形成するとともに、活性層63を除去する。また、図6 (g) で説明した酸化膜62のパターンによって、光導入部43を形成する事ができる。

【0052】

次に、図6 (i) に示すように、裏面側からKOHやTMAHなどを用いた異方性エッチングや、リアクティブイオンエッチング (RIE) などの方法によって、支持基板61をエッチングし、カンチレバーをリリースする。このとき、酸化膜62が残るため、裏面側から、RIEによるドライエッチングによって、図6 (j) に

示すように不要な酸化膜62を除去する。このとき、酸化膜62とリリース用マスク65との厚さの関係によって、図6(j)に示すようにリリース用マスク65が残ったり、残らなかったりする。

【0053】

この後、光導波路33にスパッタや真空蒸着法などによって遮光膜を形成し、導波路33の先端に微小開口5を形成する。

【0054】

以上説明したように、本発明の第3の実施の形態にかかる光導波路カンチレバー51およびその製造方法によれば、支持基板61と活性層63のオリエンタルフラット方向が45度だけ異なるため、実施の形態1および2で説明した光導波路カンチレバー50に加えて、コア4に光を導入するためのV溝42を容易に形成する事ができる。したがって、実施の形態1および2で説明した効果の他に、コア4に効率よく、かつ、容易に光を導入することができる（イルミネーションモード）。また、微小開口5で検出した光をコア4およびV溝42に固定された光ファイバーを通して効率よく検出することができる（コレクションモード）。さらに、以上で述べたイルミネーションモードとコレクションモードを同時にを行う事もできる。また、V溝42には、光ファイバーの他に、レンズやフィルターなどの光学素子を位置決め、固定することが可能であり、コア4に効率よく光を入射、または／および、コア4からの光を効率よく検出することや、コア4への入射光、または／および、コア4からの出射光の波長や位相を制御する事が容易となる。

【0055】

また、光導入部43を設けることによって、V溝42の斜面に邪魔されることなく光ファイバーとコア4との距離を近づけることができるため、効率よくコア4に光を導入することができ、微小開口5から照射される近接場光の強度を大きくすることができる。

【0056】

また、本発明の第3の実施の形態に係る光導波路カンチレバー51の製造方法によれば、光導波路カンチレバー51を容易に作製することができる。本製造方

法は、半導体プロセスを基にしたバッチプロセスであるため、一枚のスタート基板から複数の光導波路カンチレバーを作製することができる。したがって、光導波路カンチレバー51を安価に製造することができる。

【0057】

(実施の形態4)

本発明の実施の形態4に係る光導波路カンチレバー51の作製方法について、図7を用いて説明する。図7(a)は、実施の形態3において、図6(b)で説明した工程後の状態を示しており、図7(b)は、図7(a)中A-A'で示す位置の断面図である。なお、段差形成用マスク64およびリリース用マスク65は、簡単のため省略する。

【0058】

図7(a)において、スタート基板は、実施の形態3と同様のものを用いる。スタート基板に、所定の段差形成用マスク64を形成し、KOHとイソプロピルアルコールを数～数10%混合したエッティング溶液(KOH+IPA溶液)や、TMAHと数～数10%界面活性剤を混合したエッティング溶液(TMAH+界面活性剤溶液)、エチレンジアミンピロカテコール水溶液などを用いて段差を形成する。KOH+IPA溶液や、TMAH+界面活性剤溶液は、KOHやTMAH単体でのエッティングに比べて、(111)面のエッティングレートと(110)面のエッティングレートが逆転する。従って、図7(a)中の斜面71の角度は約45°となる。

【0059】

このように形成した段差と実施の形態3で説明した工程によって、光導波路カンチレバー51は、導波路33と探針部9との間に、45度の角度を有する单一の面が形成される。この单一の面がミラーとして機能する。したがって、光導波路カンチレバー51は、微小開口5へ効率よく光を導入することができ、微小開口5から照射される近接場光の発生効率を向上させることができる。

【0060】

また、スタート基板として基板61および活性層63の面方位がともに(100)面であり、かつ、結晶方向も同一のスタート基板を用いることによって、実

施の形態3で説明した光導波路カンチレバー51と同様に、屈曲部10が二つの面からなる光導波路カンチレバー51を得ることができる。

【0061】

本実施例における光導波路カンチレバー51の屈曲部の角度45度は、第3の実施例で説明した屈曲部10の角度55度よりも小さい。したがって、本実施例の光導波路カンチレバー51は、実施の形態3で説明した光導波路カンチレバー51よりも効率よく微小開口5に光を導くことができ、微小開口5から照射される近視野光の発生効率が向上する。

(実施の形態5)

本発明の実施の形態5に係る光導波路カンチレバー51の作製方法について、図8を用いて説明する。図8(a)は、実施の形態3において図6(b)で説明した工程後の状態における斜視図であり、図8(b)は上面図であり、図8(c)は図8(b)中にA-A'で示す位置の断面図である。なお、段差形成用マスク64およびリリース用マスク65は、簡単のため省略する。

【0062】

本実施例では、活性層63に(110)面のシリコン単結晶を用いる。基板61は、(100)面のシリコン単結晶であり、図8(a)中矢印Aで示す結晶方向は、<110>方向である。所定の段差形成用マスク64を形成し、KOHやTMAHなどによる異方性エッティングで活性層63をエッティングすることによって図8(a)に示すような段差を形成することができる。このときの斜面81は、図8(b)に示すように、酸化膜に対して約35度の角度を有しており、この段差上に導波路33を形成する。

【0063】

図8(a)および同図(b)に示す段差と実施の形態3で説明した工程によって、光導波路カンチレバー51は、導波路33と探針部9との間に、角度35度の单一の面が形成される。この单一の面がミラーとして機能する。また、シリコン単結晶の面方位で規定される角度であるため、その角度精度は高い。したがって、幾何光学的手法、または、導波路シミュレータなどを用いて、導波路33内を伝搬してきた光が微小開口5に向かって効率よく伝搬するような設計を行い、

その設計値通りに導波路33、ミラー、微小開口5などを形成することが容易である。微小開口5の位置は、ミラーの位置よりも導波路の先端側に形成されるため、45度より角度のちいさな35度のミラーの方が、効率よく微小開口5に光を導入することができる。したがって、本発明の第5の実施例に係る光導波路カンチレバー51は、効率よく近視野光を発生させることができる。

【0064】

なお、実施の形態3から実施の形態5では、活性層63に(110)面、(100)面の単結晶シリコンを用いているが、これ以外の結晶面を有するシリコン単結晶基板やシリコン以外の基板と基板61との組み合わせによって、様々な角度を有するミラーを形成する事ができる。

(実施の形態6)

本発明の実施の形態6に係る光導波路カンチレバー51の作製方法について、図9を用いて説明する。

【0065】

図9(a)は、実施の形態3において図6(e)で説明した工程後の上面図であり、斜面の部分は簡単のため図示していない。導波路33を形成するために、コア91を形成し、同時に一対のV溝幅規定パターン92を形成する。コア91およびV溝幅規定パターン92は、同じ材料を用い、たとえば、二酸化ケイ素を用いる。V溝幅規定パターン92の間隔W1は、V溝42の幅と同じか、それよりも狭い。

【0066】

次に、図9(b)または、図9(c)に示すように保護膜93を堆積し、パターニングを行う。保護膜93はKOHやTMAHに対して可溶性の材料であり、例えば、アルミニウムやクロムなどの金属を用いる。保護膜93はV溝幅規定パターン92のそれぞれ内側の稜線を保護するように形成される。また図9(c)に示すように、コア91の一部を覆うように形成してもよい。

【0067】

次に、上部クラッド94を堆積し、図9(d)または図9(e)のようにパターニングを行う。図9(d)は、図9(b)で説明した工程後の状態であり、図

9 (e) は、図9 (c) で説明した工程後の状態である。上部クラッド94は、KOHやTMAHに対して非可溶性の材料であり、たとえば二酸化ケイ素を用いる。

【0068】

以上の工程後に、KOHやTMAHによる結晶異方性エッチングを行うことによって、図9 (f) に示すようなV溝42を形成する事ができる。V溝42の幅は、V溝幅規定パターン92によって決まる。また、V溝の中心軸とコア91の中心軸の位置ずれは、図9 (a) の工程によってきまり、フォトリソグラフィ工程で用いるマスクの寸法精度程度であり、無視できる。

【0069】

実施の形態3から実施の形態5で説明した方法では、導波路33とV溝42との光軸の位置精度は、V溝42をパターニングする際のアライメント精度によって決まり、 $\pm 1 \sim 3 \mu\text{m}$ 程度である。しかし、導波路33のコア4の幅が数 μm の場合には、パターニングのアライメント精度では導波路33に導入できる光の効率が低下してしまう。しかし、本実施例の方法によれば、コア91の中心軸とV溝42の中心軸のずれは無視できるほど小さいため、効率よくコア91に光を導入、および／または、コアからの光を検出する事ができる。したがって、光導波路カンチレバー51から照射される近視野光の発生効率、および／または、光導波路カンチレバー51によって検出される近視野光の検出効率を向上させることができる。

(実施の形態7)

本発明の実施の形態7に係る光導波路カンチレバー51について、図10を用いて説明する。

【0070】

図10 (a) は、実施の形態3において図6 (b) で説明した工程後の状態を示しており、図7 (b) は、図7 (a) 中A-A'で示す位置の断面図である。なお、段差形成用マスク64およびリリース用マスク65は、簡単のため省略する。

【0071】

図10 (a)において、スタート基板は、実施の形態3から実施の形態6で述べたものを用いる。段差を形成した後、図10 (a)に示すように光導波路33を形成する。光導波路33の形状は、実施の形態1において図1 (d)で述べた光導波路2の形状を図1 (d)中の光軸を含み、図1 (d)の紙面に対して垂直な面で切断したものとほぼ同様になる。活性層63の面方位および結晶方向によって、斜面の角度が規定され、それに応じた斜面36が光導波路33に形成される。また、微小開口5が形成される位置は、図10 (a)、図10 (b)に示すように、光導波路33の先端である。

【0072】

このように形成した段差および光導波路33と実施の形態3で説明した工程によって、光導波路カンチレバー51は、光導波路33と探針部の間に、光導波路33の光軸に対して垂直ではなく、单一の面からなる偏向面を有する。例えば、活性層62が(100)ウェハであり、斜面36が(111)面である場合、斜面36が光軸に対して斜めに形成されていることにより、光導波路33中を伝搬する光の光軸上に微小開口5を配置することができる。したがって、光導波路カンチレバー51は、微小開口から強度の大きな近接場光を照射できるとともに、微小開口によって効率よく試料表面の近接場光を検出することができる。

(実施の形態8)

上述した実施の形態による光導波路プローブを光マイクロカンチレバーとして用いた走査型近視野顕微鏡の構成を図11に示す。

【0073】

図示したように、この走査型近視野顕微鏡1000は、光マイクロカンチレバー410と、光源509と、光源からの伝播光を集光して光マイクロカンチレバーの光導波路に照射するレンズ510と、試料501の下方に配置され光マイクロカンチレバーの先端で発生した近視野光が散乱されることで得られる伝播光を反射するプリズム502と、プリズムからの伝播光を集光するレンズ505と、レンズにより集光された伝播光を受光する光検出部506と、を備えている。

【0074】

また、光マイクロカンチレバーの上方には、レーザ光を発振するレーザ発振器

512と、光マイクロカンチレバーの自由端において反射されたレーザ光を反射するミラー513と、ミラー513において反射されたレーザ光を受光して光電変換する上下2分割した光電変換部511と、を備えている。更に、試料501およびプリズム502を3次元的に移動制御する微動機構503および粗動機構504と、これら微動機構503および粗動機構504を駆動するサーボ機構508と、装置全体を制御するコンピュータ507と、を備えている。この走査型近視野顕微鏡1000は、ダイナミックモードまたはコンタクトモードの観察に適する。

【0075】

次に、走査型近視野顕微鏡1000の動作について説明する。レーザ発振器512から発振されたレーザ光は、光マイクロカンチレバーの自由端において反射される。光マイクロカンチレバーは、その先端と試料501との間の原子間力によって変移する。この変移と共に、光マイクロカンチレバーの自由端において反射されたレーザ光の反射角度が振れ、この振れを光電変換部511で検出する。

【0076】

光電変換部511により検出した信号は、コンピュータ507に送られる。コンピュータ507は、試料501に対する光マイクロカンチレバーのアプローチや、表面の観察の際に光マイクロカンチレバーの撓みが設定値を超えないように、サーボ機構508により微動機構503および粗動機構504を制御する。

【0077】

また、光源509から放出された伝播光は、レンズ510により集光され、光マイクロカンチレバーの光導波路を介して微小開口に照射される。これにより、光マイクロカンチレバーの微小開口付近に近視野光が発生する。一方、プリズム502により反射した試料501の光学的情報は、レンズ505により集光され、光検出部506に導入される。コンピュータ507は、光検出部506の信号を受け取り、その信号から試料501の光学的情報を検出してトポ像や光学像などを作成する。

【0078】

このような構成の走査型近視野顕微鏡に、本発明の光導波路プローブを用いる

ことにより、走査型近視野顕微鏡に以下のような効果が生じる。すなわち、本発明の光導波路プローブは近視野光の強度が大きく、共振周波数が高くバネ定数が小さいため、高速に走査することができる。したがって、観察にかかる時間が短くなる。また、全長が長い光ファイバープローブにくらべ、カンチレバーホルダーへの装着をはじめとするプローブの取り扱いが容易となるため、装置の操作性が向上する。

【0079】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明にかかる光導波路プローブによれば、従来のSNOMの光ファイバープローブに比べて小型で、低バネ定数、高共振周波数にすることができるため、試料やプローブに損傷を与えることなく、高速に走査することができる。

【0080】

また、屈曲部において効率よく伝搬光を反射させることができるために、微小開口から近視野光を出射する場合でも、微小開口で光を検出する場合でも、光を効率よく導波路内を伝搬させることができる。

【0081】

また、本発明にかかる光導波路プローブの作製方法によれば、容易に、量産性、再現性、均一性良く作製することができ、低価格で本光導波路プローブを提供できる。

【0082】

また、本発明の第3の実施の形態によれば、支持基板と活性層のオリエンタルフラット方向が45度だけ異なるため、コア4に光を導入するためのV溝42を容易に形成する事ができる。したがって、実施の形態1および2で説明した効果の他に、コアに効率よく、かつ、容易に光を導入することができる（イルミネーションモード）。また、微小開口で検出した光をコアおよびV溝に固定された光ファイバーを通して効率よく検出することができる（コレクションモード）。さらに、以上で述べたイルミネーションモードとコレクションモードを同時に行うこともできる。また、V溝には、光ファイバーの他に、レンズやフィルターなど



の光学素子を位置決め、固定する事が可能であり、コアに効率よく光を入射、または／および、コアからの光を効率よく検出することや、コアへの入射光、または／および、コアからの出射光の波長や位相を制御することが容易となる。

【0083】

また、光導入部を設けることによって、V溝の斜面に邪魔されることなく光ファイバーとコアの距離を近づけることができるため、効率よくコアに光を導入することができ、微小開口から照射される近接場光の強度を大きくすることができる。

【0084】

また、本発明の第3の実施の形態に係る光導波路カンチレバーの製造方法によれば、光導波路カンチレバーを容易に作製することができる。本製造方法は、半導体プロセスを基にしたバッチプロセスであるため、一枚のスタート基板から複数の光導波路カンチレバーを作製することができる。したがって、光導波路カンチレバーを安価に製造することができる。

【0085】

また、本発明の第4の実施例によれば、光導波路カンチレバーの屈曲部の角度45度は、第3の実施例で説明した屈曲部の角度55度よりも小さい。したがって、本実施例の光導波路カンチレバーは、実施の形態3で説明した光導波路カンチレバーよりも効率よく微小開口に光を導くことができ、微小開口から照射される近視野光の発生効率が向上する。

【0086】

本発明の第5の実施例によれば、屈曲部の角度は、シリコン単結晶の面方位で規定される角度であるため、その角度精度は高い。したがって、幾何光学的手法、または、導波路シミュレータなどを用いて、導波路内を伝搬してきた光が微小開口に向かって効率よく伝搬するような設計を行い、その設計値通りに導波路、屈曲部、微小開口などを形成することが容易である。微小開口の位置は、屈曲部の位置よりも導波路の先端側に形成されるため、45度より角度のちいさな35度の屈曲部の方が、効率よく微小開口に光を導入することができる。したがって、本発明の第5の実施例に係る光導波路カンチレバーは、本発明の第4の実施例

にかかる光導波路カンチレバーよりも、効率よく近視野光を発生させることができること。

【0087】

また、本発明の第6の実施例によれば、コアの中心軸とV溝の中心軸のいずれは無視できるほど小さいため、効率よくコアに光を導入、および／または、コアからの光を検出する事ができる。したがって、光導波路カンチレバーから照射される近視野光の発生効率、および／または、光導波路カンチレバーによって検出される近視野光の検出効率を向上させることができる。

【0088】

また、本発明の第7の実施例によれば、光導波路カンチレバーは、光導波路と探針部の間に、光導波路の光軸に対して垂直ではなく、单一の面からなる偏向面を有する。例えば、活性層62が(100)面であり、斜面が(111)面である場合、斜面が光軸に対して斜めに形成されていることにより、光導波路中を伝搬する光の光軸上に微小開口を配置することができる。したがって、光導波路カンチレバーは、微小開口から強度の大きな近接場光を照射できるとともに、微小開口によって効率よく試料表面の近接場光を検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施の形態1にかかる光導波路プローブの構成を示す構成図である。

【図2】

本発明の実施の形態2にかかる光導波路プローブの製造方法を示す説明図である。

【図3】

本発明の実施の形態2にかかる光導波路プローブの製造工程における説明図である。

【図4】

本発明の実施の形態2にかかる光導波路プローブの製造工程における説明図である。

【図5】

本発明の実施の形態3にかかる光導波路プローブの構成を示す構成図である。

【図6】

本発明の実施の形態3にかかる光導波路プローブの製造工程における説明図である。

【図7】

本発明の実施の形態4にかかる光導波路プローブの製造工程における説明図である。

【図8】

本発明の実施の形態5にかかる光導波路プローブの製造工程における説明図である。

【図9】

本発明の実施の形態6にかかる光導波路プローブの製造工程における説明図である。

【図10】

本発明の実施の形態7にかかる光導波路プローブの製造工程における説明図である。

【図11】

本発明の実施の形態にかかる光導波路プローブを用いた走査型近視野顕微鏡の概略構成を示す模式図である。

【符号の説明】

- 1 支持部
- 2 光導波路
- 3 弹性機能部
- 4 コア
- 5 微小開口
- 6 クラッド
- 7 伝搬光
- 8 入射光
- 9 探針部

10 屈曲部

11 入射端

12、13 平面

31 基板

32 二酸化珪素

33 光導波路

34 マスク

35 光導波路

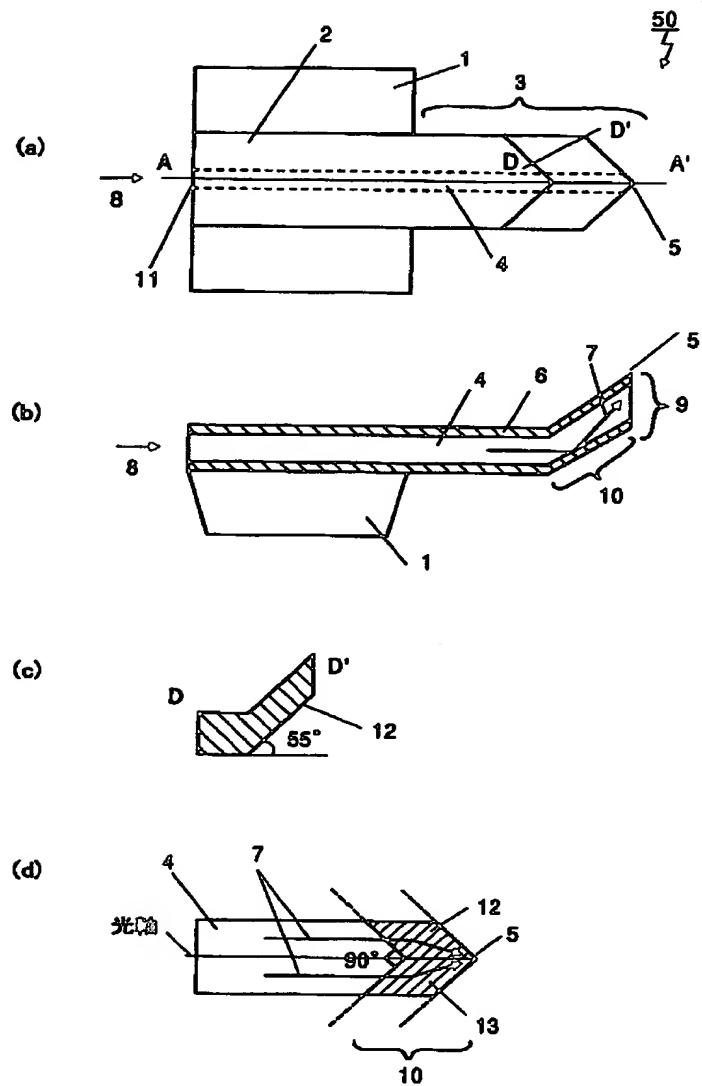
36 斜面

37 下面

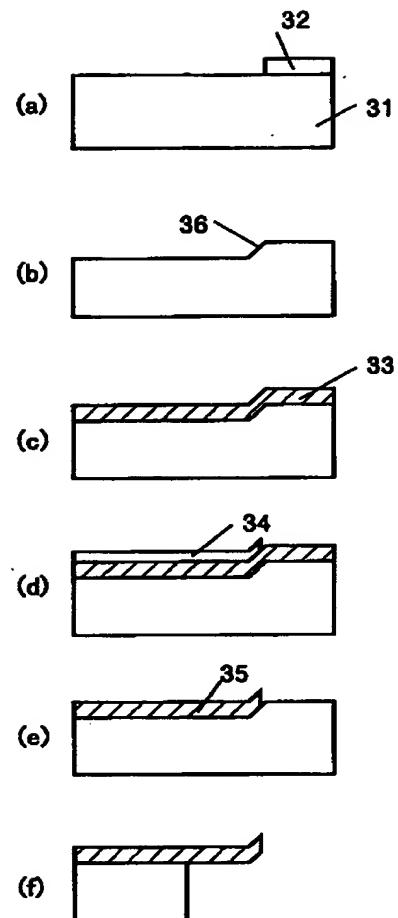
50、51 光導波路プローブ

【書類名】 図面

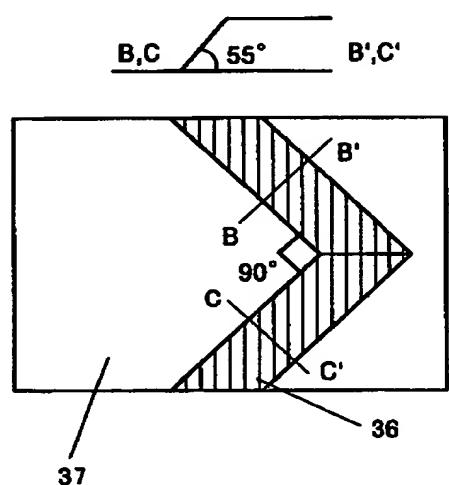
【図1】



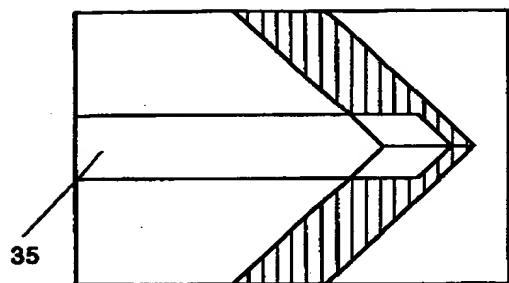
【図2】



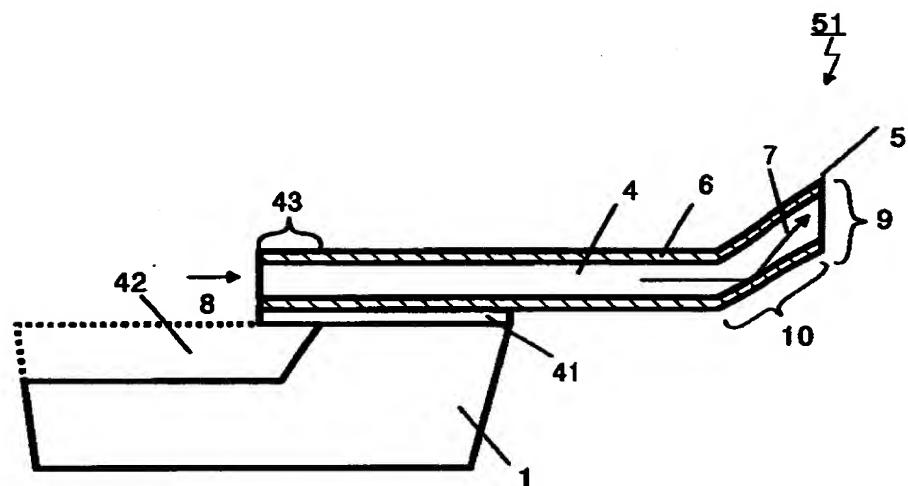
【図3】



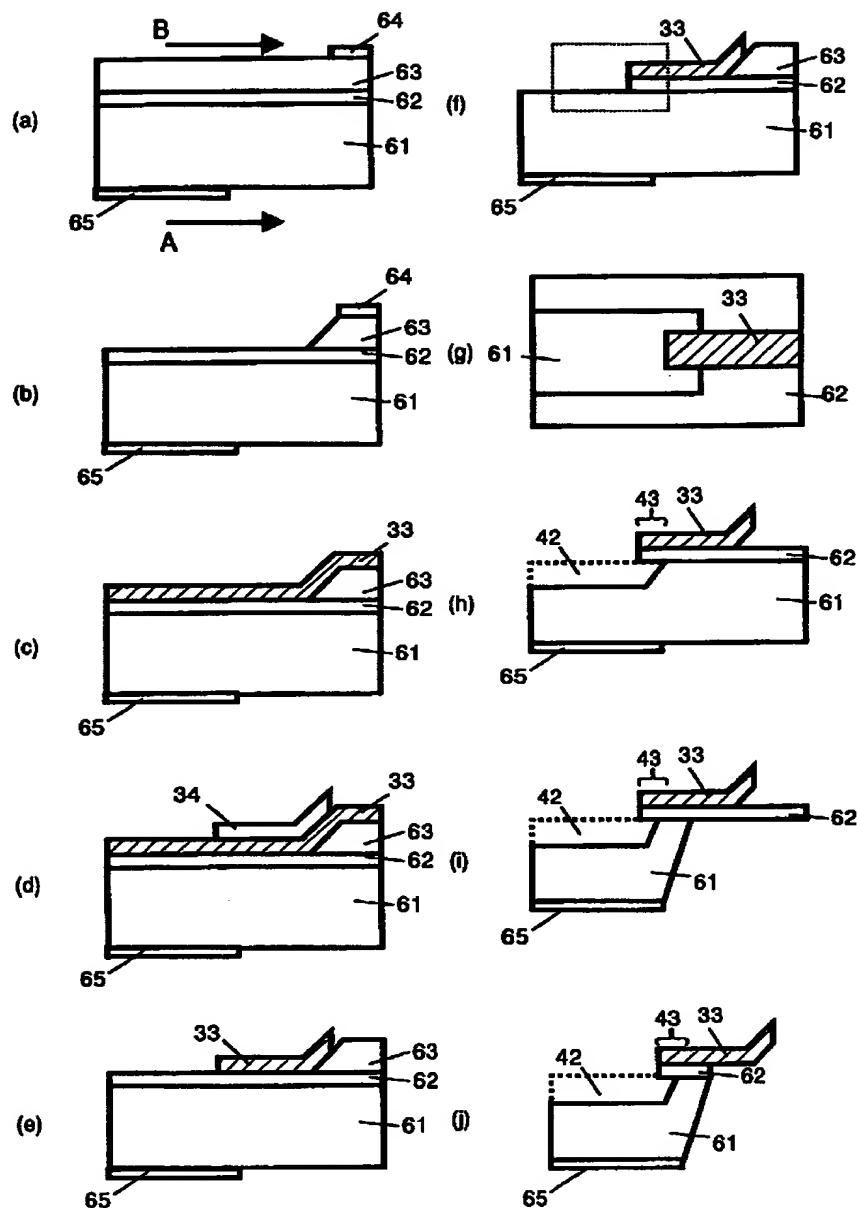
【図4】



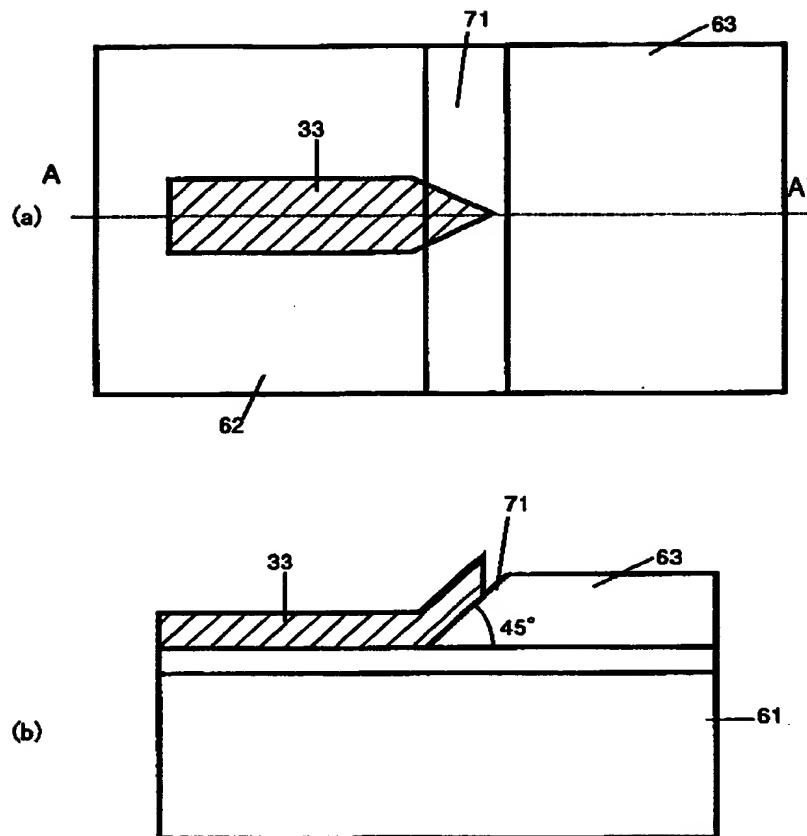
【図5】



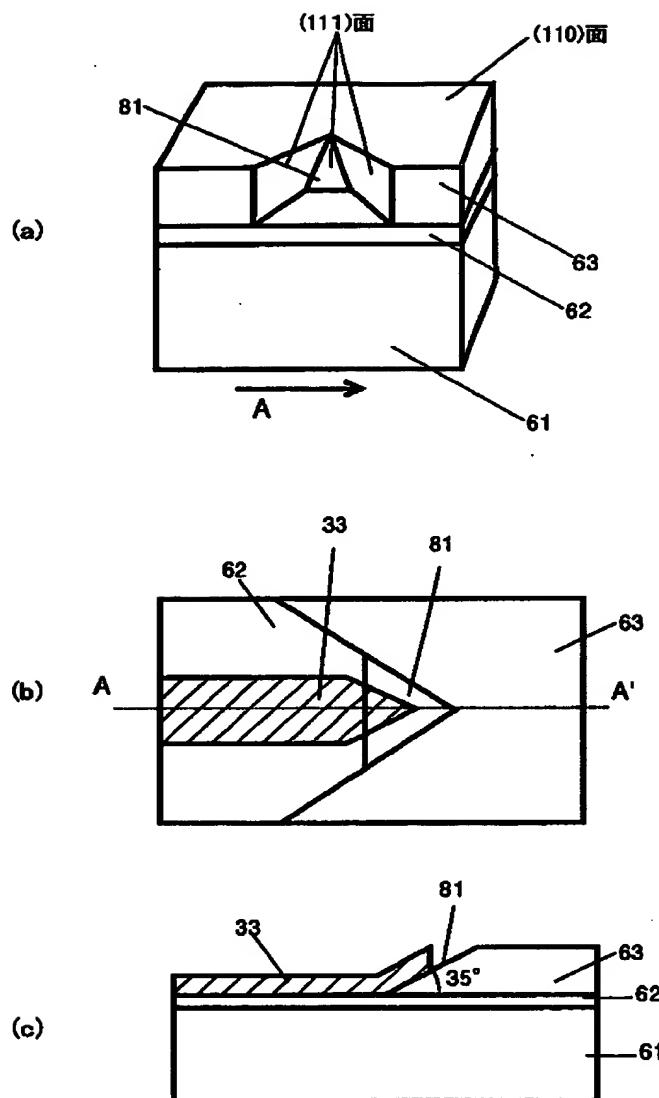
【図6】



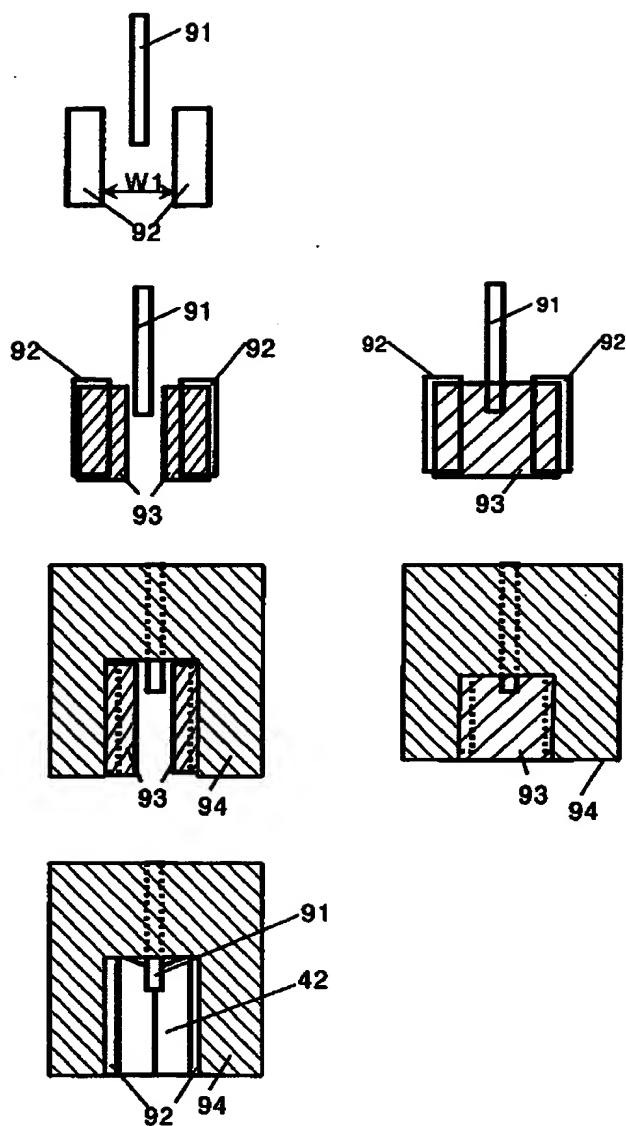
【図7】



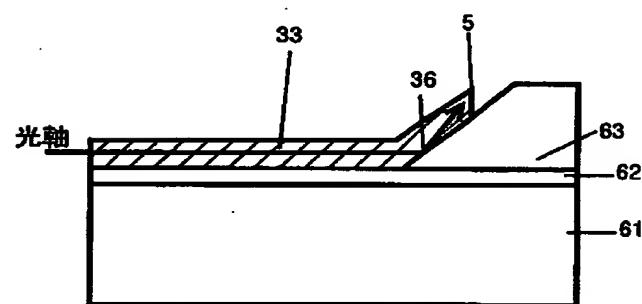
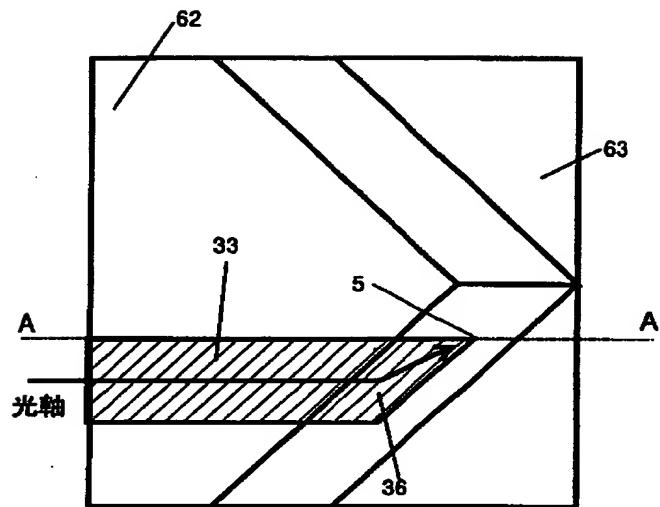
【図8】



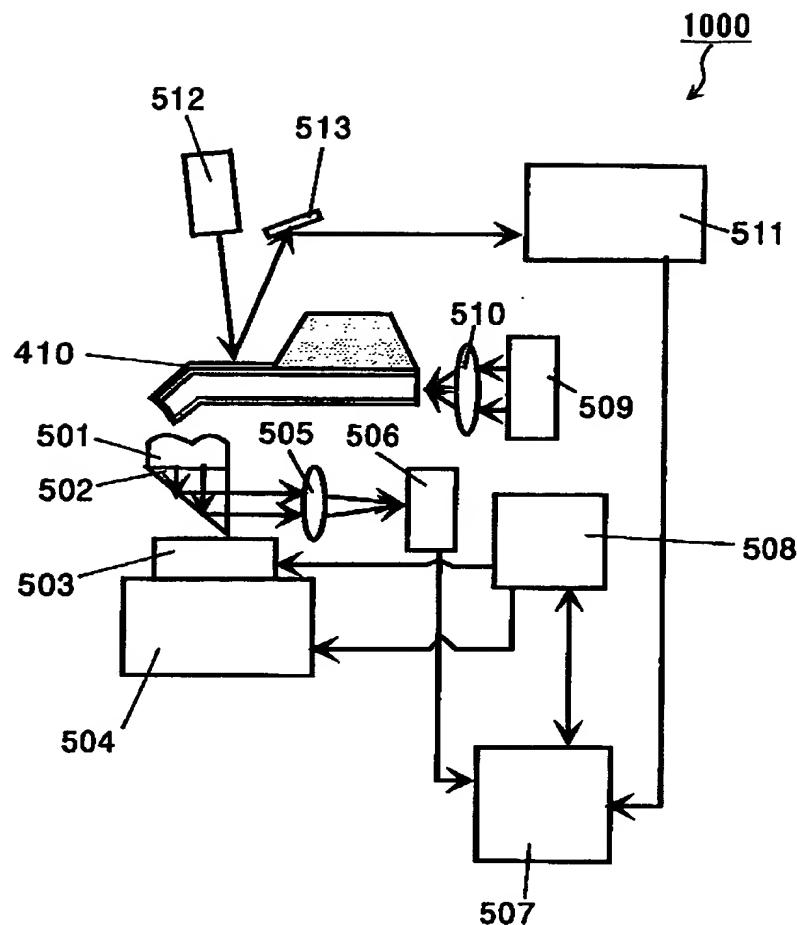
【図9】



【図10】



【図11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 走査型近視野顕微鏡に用いられ、光伝搬損失が少なく、AFM動作可能な光導波路プローブ、およびその製造方法を得ること。

【解決手段】 光導波路2の光軸を含む面に対称な複数の面により、光導波路2の先端近傍が探針部9側に屈曲している。これにより、屈曲部10での伝搬光7の損失を低減できると共に、微小開口5へ伝搬光7を集光できるため、微小開口5から効率よく近視野光を出射することができる。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-078891
受付番号	50100392854
書類名	特許願
担当官	第八担当上席 0097
作成日	平成13年 3月23日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000002325
--------	-----------

【住所又は居所】	千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地
----------	-------------------

【氏名又は名称】	セイコーワンスツルメンツ株式会社
----------	------------------

【代理人】

【識別番号】	100096286
--------	-----------

【住所又は居所】	千葉県松戸市千駄堀1493-7 林特許事務所
----------	------------------------

【氏名又は名称】	林 敬之助
----------	-------

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [000002325]

1. 変更年月日 1997年 7月23日

[変更理由] 名称変更

住 所 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地
氏 名 セイコーインスツルメンツ株式会社